

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.4.215>

JIIBC 2013-4-28

퍼지규칙을 이용한 AED 시스템

AED System using Fuzzy Rules

이희택*, 홍유식**, 이상석***

HeeTack Lee, YouSik Hong, SangSuk Lee

요약 최근 심장마비로 사망한 사례가 전 세계적으로 급속도로 늘고 있다. 그러므로 이러한 문제점을 개선하기위 해서, 공항, 학교, 가정에서도 자동제세동기 설치가 의무화 되었고 AED 설치를 의무화 하고 있는 추세이다. 그러나, AED는 응급상황에서 사용 시 오작동이나 장비의 고장이 생긴 경우 AED가 비치되어 있어도 무용지물이 될 수 있다. 본 논문에서는, 이러한 문제점을 개선하기위해서, AED Simulator를 이용한 퍼지기법 시뮬레이션은 기존의 방법 과 비교해서 외부 온도 조건 및 Tilt 조건을 고려 해서, 자가 진단시에 이상 검출 유무를 판단하는 지능형 모의 실험 을 개발하였다. 모의실험 결과, 기존의 방법보다 고장 검출 확률이 30 % 정도 개선되는 것을 확인하였다.

Abstract Recently, death number of heart attack in the world is increasing rapidly. Therefore, to solve these problem, it is trend that is making mandatory automatic defibrillator AED establishment to airport, school, at home. However, AED use in an emergency or equipment failure caused malfunctions if equipped with AED may even become obsolete. In this paper, in order to improve this problem, AED Simulator using the fuzzy simulation technique in comparison to existing methods Tilt ambient temperature conditions and in consideration of the conditions, self-diagnostics, error detection at the time to determine whether the development of intelligent simulation. Moreover, in this paper, it proved that fuzzy AED Simulation improved fault detection probability results 30% more than conventional method.

Key Words : Fuzzy Rules, AED, Fault Diagnosis System

1. 서 론

최근 심장마비로 사망한 사례가 전 세계적으로 급속도로 늘고 있다. 공항, 학교, 가정에서도 자동제세동기 설치가 의무화 되었고 이에 따라 AED의 사용이 늘어나고 있는 추세이다. AED는 응급상황에서 사용 시 오작동이나 장비의 고장이 생긴 경우 AED가 비치되어 있어도 무용지물이 될 수 있다. 관리적인 측면에서 자가진단

(self-test) 기능은 장비의 이상여부를 판단하여 자체적으로 외부에 알려거나 고장 표시를 하여 신속한 관리적 처리가 될 수 있게 할 수 있다^[1-2]. 제세동기는 규칙적인 심장 박동을 회복시키기 위해 흉벽을 통해 전기 충격을 심장에 전달하는 장치이다. 심장 근육이 더 이상 수축 운동을 하지 않으면 신체 주위로 혈액이 공급되지 않기 때문에 만약 심장이 멎었을 때 제때 응급 조치를 하지 않는다면 사망할 가능성이 높아진다. 요즘에는 심실세동의

*정회원, 상지대학교 응용 전자공학과

**중신회원(교신저자), 상지대학교 컴퓨터 정보공학부

***정회원, 상지대학교 한방 의료공학과

접수일자 : 2013년 6월 24일, 수정완료 : 2013년 7월 28일

게재확정일자 : 2013년 8월 16일

Received: 24 June, 2013 / Revised: 28 July, 2013

Accepted: 16 August, 2013

**Corresponding Author: yshong@sangji.ac.kr

Dept. of Computer Science, Sangji University, Wonju, Korea

위험이 큰 사람에게서는 심장 박동의 변화가 감지되면 자동적으로 전기 충격을 전달하는 이식형 제세동기가 종종 사용되고 있다^[1-3]. AED의 가장 핵심적인 역할을 하고 있는 내부 고전압 에너지 테스트는 정밀하고 신뢰도 높게 다루어져야 한다. AED의 동작온도 범위는 업체마다 차이가 있지만 보통 0℃~50℃로 설정되어 있다.

AED는 자가진단 시 동작 온도 범위 밖으로 벗어날 경우 자가진단 테스트를 중단하거나 다음에 다시 수행한다. 자가진단 시 동작온도 범위 안으로 들어왔지만 온도가 범위 한계선 가까이 위치해 있는 경우나 한계선 바로 바깥으로 벗어난 경우는 온도에 의한 자가진단 수행 후의 결과값이 정상 동작을 했음에도 불구하고 고장으로 판단될 가능성이 있다[4-7]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 퍼지 추론 기법을 이용해서 설정된 온도의 범위 근처에서 자가진단 수행이 되었을 때 고장 검출의 위험성이 낮아지도록 시도하였다. 본 논문에서는 AED 온도조건 및 방전조건 변수를 고려해서 장비의 고장여부 상태를 판단하는 과정을 퍼지 추론기능을 이용해서 제어하였다^[8-13]. 뿐만아니라, 본 논문에서는, AED를 전기 충격을 실시 하기전에 환자의 흉부 임피던스가 같지않기 때문에 환자의 전기충격 에너지를 고려한 최적의 전기충격 에너지를 산출해야한다. 환자의 임피던스마다 적절한 에너지값을 인가하여 임피던스가 높은 환자에게 적은 에너지가 인가되거나 임피던스가 낮은 환자에게 큰 에너지가 인가되지 않도록 설계하였다. 본 논문에서는 AED의 대기 상태 시 외부 환경 조건에서 사용가능 여부를 감지하고 장비 내부의 오동작을 예방하고 이상을 발견하기 위한 자가진단에 중점을 두었으며 본 논문의 구성은 다음과 같다, 심실세동기 이론을 2장에서 알아보고 3장에서는 고전압 방전 에너지 실험 및 특징에 관해서 알아본다. 4장에서는 퍼지규칙을 이용한 AED 고장진단기 모의 실험결과를 설명하고 5장에서는 AED의 주기적인 자가 진단 시 고전압 충전과 방전테스트를 하여 장비의 고전압 회로와 부품의 이상 유무를 점검한다. 관해서 설명한다.

II. 자동 제세동기의 발전과 종류

미국의 심장 전문의 클라우드 벡(1894~1971)은 1947년 오하이오 주 클리블랜드에 위치한 케이스웨스턴리저

브 대학교에서 제세동법을 성공적으로 시술하였다. 선천성 심장 질환이 있는 14세 소년의 수술을 진행 중이었는데, 흉부를 닫는 순간 소년의 심장이 정지하였다. 심장 마사지가 실패하자 벡은 즉시 흉부를 다시 열어 개발 중이던 제세동기를 사용하였다. 벡의 제세동기는 60-Hz 교류로 연결된 상태에서 심장 위에 올려놓는 은 주걱(식탁용 큰 스푼 정도의 크기) 모양을 하고 있었다. 오늘날 제세동기는 수술실에서 널리 사용되고 있으며 소평몰이나 스포츠 경기장 같은 장소에서도 자동 제세동기(AED)를 찾아볼 수 있다. 요즘에는 심실세동의 위험이 큰 사람에게서는 심장 박동의 변화가 감지되면 자동적으로 전기 충격을 전달하는 이식형 제세동기가 종종 사용되고 있다.

1962년 심장병 전문의인 Bernard Lown은 85마리의 잠종견으로 60-Hz의 사인파를 유도하여 심실세동 후에 AC(alternating current)와 DC(direct current)중 어떤 것이 뛰어난 효능을 나타내는지 실험하였다. 이러한 실험은 DC 제세동이 AC 제세동보다 효과적이며, 치사율이 적고 심실세동의 유발을 적게 시킬 것 같다는 것을 입증하였다. 1960대에 들어서 DC 펄스 파형이 더욱 개선되어 현재는 전기적 두 위상을 갖는 biphasic 파형이 사용되고 있다^[11]. 심실세동에 의한 심정지 환자의 생명은 얼마나 빨리 제세동이 이루어지냐에 의해 결정된다고 할 수 있다. 제세동의 성공 가능성은 심실세동이 일어나 후 시간이 경과될수록 분당 7~10%씩 감소한다. 심정지 환자를 발견한 사람에 의한 심폐소생술의 시행은 시간경과에 따른 제세동 성공률 증가시켜 생존률을 2~3배 이상 증가시키는 것으로 알려져 있으나, 심폐소생술만으로 심실세동이 정상 심장리듬으로 전환되지는 않는 것으로 알려져 있다^[3].

2005년 이전 자동제세동기를 사용할 경우에는 초기에 3회 연속 제세동을 하는 것을 권장하였다. 초기에 3회 연속으로 제세동을 하는 경우 심폐소생술 시 흉부압박을 중단하는 시간이 늘어나게 된다. 그리고 대부분의 자동제동기가 채택하고 있는 Biphasic 파형 제세동기를 사용할 경우 첫 제세동의 성공률이 높게 (90%이상) 보고되고 있다. 이런 이유로 기존의 3회 연속 제세동 대신 초기 한번의 제세동 방법을 권고하고 있다^[5].

제세동 후 Biphasic 파형이 Monophasic 파형보다 심근 기능 장애에 영향이 적다고 조사되었다. 제세동 후 Biphasic 파형이 ECG ST-segment의 적은 변화를 야기시킨다고 밝혔다.

III. 고전압 방전 에너지 실험 및 고찰

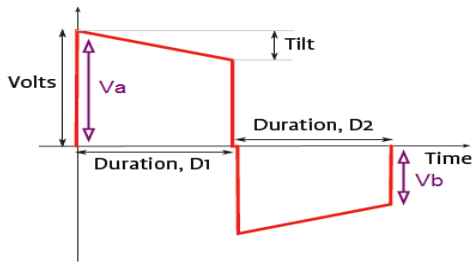


그림 1. Biphasic 파형의 변화 요소
Fig. 1. Biphasic waveforms change factors

그림 1에서 보는 것처럼, biphasic 파형은 phase 1 구간인 D1, phase 2 구간인 D2로 분류되고 tilt 곡선은 $tilt = \frac{V_a - (-V_b)}{V_a} \times 100\%$ 로 계산 되어진다. 순환정지에 의한 심정지는 대부분의 심장성 심정지 환자에서 발생한다. 신장에서 피 순환이 정지되면 대뇌의 산소는 10초 이내에 고갈되며, 5분이 경과하면 ATP의 고갈로 인하여 비가역적인 뇌손상이 시작된다. 따라서 4~10분 이내에 순환정지 상태가 교정되지 못하면 심박동이 회복되더라도 심각한 뇌손상이 남게된다. 체세동의 성공 가능성은 심실세동이 발생한 후 시간이 경과될수록 분당 7~10%씩 감소하기 때문에 심실세동에 의한 심정지 환자의 생명은 얼마나 빨리 체세동 처치가 시행되느냐에 의해 결정된다고 말할 수 있다. 목격자에 의한 심폐소생술의 시행은 시간경과에 따른 체세동 성공률의 감소속도를 늦추어서 생존률을 2~3배 이상 증가시키는 것으로 알려져 있으나, 심폐소생술만으로 심실세동이 정상 심장리듬으로 전환되지는 않는 것으로 알려져 있다.

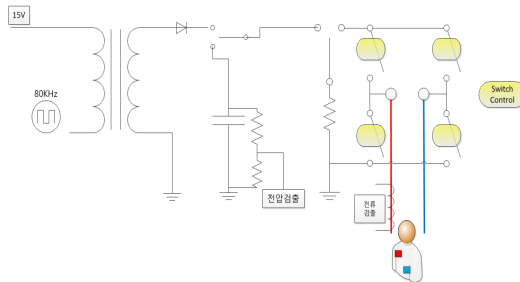


그림 2. AED 고전압 충전방전 구조
Fig. 2. AED-voltage charge and discharge structures

그림 2와 같이 15V의 구형파를 발생시켜서 FET 게이트(gate)단을 on/off 시켜 승압형 변압기로 캐패시터에 2000V 까지 전압 상승이 가능하게 설계하였다. 고전압 승압회로는 flyback converter 방식을 사용하였다. 고전압 전기충격에너지 제어 소자는 IGBT(Insulated gate bipolar transistor)를 사용하였다. IGBT는 VCES가 2500V인 IXYS사의 IXGF25N250을 이용하였다. biphasic waveform을 사용하기 위해서 full-bridge inverter 방식을 사용하였다. 그림 3에서 보는것과 같이, Biphasic waveform은 한쪽 방향으로 전류를 흘리다가 반대 방향으로 전류를 흐르게 하는 방식이다.

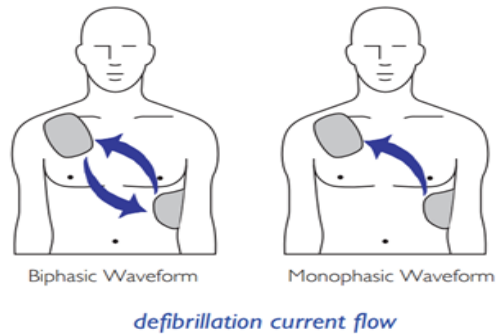


그림 3. Biphasic 파형과 monophasic 파형의 전류 흐름 비교
Fig. 3. Biphasic and monophasic waveform comparison of current flow

커패시터의 에너지는 축적된 전하(Q)에 의해 이루어져 있으며 그 충전된 에너지는 고압 커패시터의 용량 값에 따라 완충된 상태에서 그 에너지 값이 결정되며 고압 커패시터의 기본적인 충전 상관관계는 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\int i dt = q \quad (1)$$

식(1)에서 전류는 시간에 따른 전하의 흐름과 같고 정전용량 $C = \frac{q}{v}$ 및 전력 P는 $P = vi$ 의 관계를 가지므로, 전기 에너지 W는 식(2)와 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$W = \int P dt \quad (2)$$

$$W = \int P dt = \int vi dt = \int \frac{q}{C} dt \quad (3)$$

식에 충전 에너지(W)와 전하(Q), 정전용량(C)의 관계를 적용하면 에너지는 식(4)와 식(5)와 같이 다시 표현할 수 있다.

$$W = \int \frac{q}{c} dq = \left(\frac{1}{2C}\right)[q^2(t=t_1) - q^2(t=0)] = \left(\frac{1}{2C}\right)Q^2 \quad (4)$$

$$W = \left(\frac{1}{2C}\right)Q^2 = \frac{1}{2}CV^2 \quad (5)$$

위의 수식에서 보는것과 같이, AED 충전 에너지와 정전용량의 관계를 나타낼 수 있고 충전 에너지와 충전 시간과의 상관관계로부터 충전전류 i 의 증가에 따라 충전 시간 t 는 감소하게 된다. AED는 휴대성이 불편할 경우 시간 지연을 초래하고 나아가 환자의 생명에 영향을 미치기 때문에 배터리로 탈착 되게 동작한다. 배터리 용량과 배터리 최대 방전 전류에 영향을 의해 짧은 충전시간의 설계를 우선 시 할 경우 전류 i 를 적절히 조절해야 한다. 국제규격 IEC60601-2-4 에 의하면 50 ohm의 부하저항에 대한 출력에너지의 정확도는 설정 가능한 모든 에너지에서 $\pm 3J$ 또는 $\pm 15\%$ 의 어느 쪽인가 큰 값 이내 이어야 한다고 규정되고 있다. 본 논문에서는 AED 고전압 충전 전압과 방전 시간을 사용하였고 흉부 임피던스 값과 유사하게 모델링된 고정된 50Ω의 내부 방전 저항을 사용하였다. 0℃부터 100℃ 까지 온도를 변화시켰을 때 저항의 변화는 0.01 ohm로 변화였다.

IV. 모의실험

인간을 살릴 수 도, 죽일 수 도 있는 전기 충격기전기 전압의 가장 핵심적인 요소는 전류, 전압, 시간, 에너지의 파형이 있다. 하지만 이 4가지 요소는 환자의 임피던스에 따라 다를 수도 있어 같은 조건의 세기라 하더라도 그 결과는 다르게 나타날 수 있다. 즉 같은 전압이라 하더라도 충격시간을 얼마나 인가 했는 지와 환자의 임피던스에 따른 에너지의 가변이 필요하기 때문에 전압보다는 환자 개인의 임피던스 차이와 전기충격 시간을 얼마나 가했는 지의 시간차가 매우 중요한 요소로 평가된다.

RULE

IF Phase time 1 = High And
Phase time 2 = High And
Tilt = High And
Temperature = Small And
Then
Shockwave = CNF 85

여기서 CNF 85이란 : 전기충격정확도 의 확신도가 85%란 뜻이다. 만약, 퍼지규칙을 사용하지 않고 기존의 방법대로 확신도를 표시하지 하면 이러한 AED 장비는 고장으로 분류될 확률이 항상 100%로 간주된다. 본 논문에서는 Phase time1과 Phase time2을 고려해서 전기충격정확도를 85%로 판단하게 된다. 본 논문에서는 AED의 대기 상태 시 외부 환경에서 사용여부를 감지 및 장비 내부의 오동작을 예방하고 이상을 발견하기 위한 자가진단 고장검출 소프트웨어를 모의실험 하였다. 표 1에서 보는것과 같이, 고전압 충전부, 고전압 충전 보호회로, 고전압 방전 전류 검출 회로부 설계 알고리즘 및 판단 시스템을 제안하였다.

표 1. 퍼지 시스템을 이용한 AED 고장 분석

Table 1. AED failure analysis using fuzzy system

Phase 1 time	phase 2 time	tilt	temperature	지능형 고장 방식	기존 방식
good	good	good	very low	pass	fail
good	good	high	very low	pass	fail
good	good	low	warm	fail	fail
short	good	good	very low	pass/retry	fail
short	good	good	very high	pass/retry	fail
short	good	good	warm	fail	fail
long	good	good	very low	pass/retry	fail
long	good	good	very high	pass/retry	fail
long	good	good	warm	fail	fail

표 1에서는 퍼지 규칙을 이용해서, 기존의 방법 보다, 외부 온도 조건 및 Tilt 조건을 고려해서, AED 자가 진단 시에 이상 검출 유무를 판단 하는 지능형 모의실험을 개발하였다. 기존의 방법은 외부 온도 및 4가지 조건에 의한 배터리 충방전조건 등을 고려하지 않았으므로, AED 자가진단 조건을 fail 로 간주하는 경우가 발생 할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용해서 AED 고장분석을 정상으로 판단하는 과정을 모의 실험 하였다.

모의실험결과 기존의 방법보다 고장 검출 확률이 30 % 정도 개선되는 것을 확인하였다.

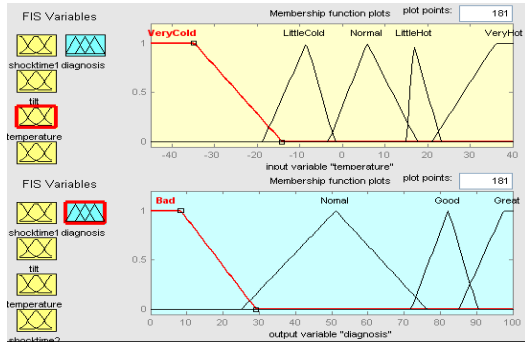


그림 4. AED 퍼지 입력 및 출력 멤버십 함수
Fig. 4. AED membership function fuzzy input output

그림 4는 퍼지 출력 멤버십함수 및 AED가 온도에 의해서 오작동을 일으키는 요소를 설명하고 있다. 왜냐하면 AED 자가진단 시에 정상 동작온도 범위지만 주위 온도가 너무 덥거나 추워서 정상 범위 한계선 가까이 위치해 있는 경우나 한계선 바로 바깥으로 벗어난 경우는 온도에 의한 자가진단 수행 후의 결과값이 정상 동작을 했음에도 불구하고 고장으로 판단될 가능성을 배제하기 위한 퍼지 멤버십 함수를 설명하고 있다.

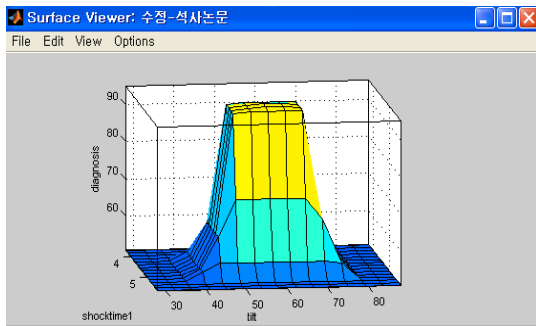


그림 5. 고전압 테스트 퍼지 추론 시스템 규칙
Fig. 5. Voltage test fuzzy inference system rules

그림 5에서는 입력변수 고전압 방전시간 조건 1과 입력변수 고전압 방전시간 조건 2와 입력변수 tilt 조건 및 입력변수 온도조건 4가지들을 고려했을 경우에 고전압 테스트 고장진단 모의실험을 하였다.

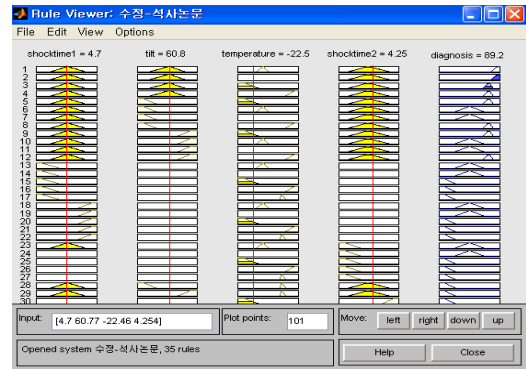


그림 6. 고전압 테스트 퍼지 추론 시스템 규칙
Fig. 6. Voltage test fuzzy inference system rules

그림 6에서는 입력변수 Shoctime 방전시간 조건 1이 14.7이고 고전압 방전시간 조건 2가 tilt 조건 80.8이고 입력변수 온도조건 3이 영하 22.5 도이고, 입력변수 Shoctime 방전시간 조건 4가 4.25 인 4가지들을 고려했을 경우에 고전압 테스트 고장진단 출력을 모의실험을 하였다. 본논문에서는 35가지 퍼지 규칙을 사용해서 AED 자가진단 시에 최적의 고장 검출용 규칙들을 설명 하고 있다.

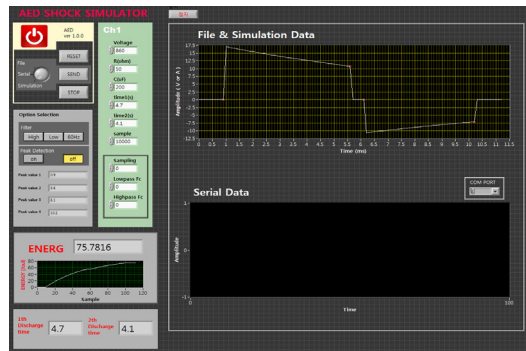


그림 7. AED Simulator 파형 생성 화면
Fig. 7. Waveform generation AED Simulator screen

본 논문에서는, AED Simulator를 개발하여 그림7과 같이 방전 파형의 전압, 저항, 고전압 캐패시터 용량, Phase 1의 시간, Phase 2의 시간, Sampling rate를 가변함에 따라 달라지는 파형을 직관적으로 볼 수 있도록 설계하였다. 또한 파형에서 임피던스로 나눈 값을 전류로 환산하여 에너지로 변환될 수 있도록 설계하였다.

V. 결 론

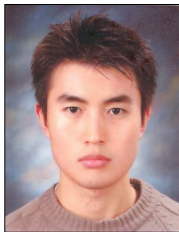
최근, 지하철역, 공항 등 공공시설에 자동제세동기 설치를 의무화 하여 AED 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 그러나, AED는 빈번히 사용하지 않는 의료기기이기 때문에 주기적인 자가 진단 기능을 통해서, 주기적인 배터리 교체 및 환자에게 최적의 전기충격도를 산출해서, 실시간으로 전기 충격을 줄 수 있도록 조치를 이행 해야만 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결 하기위해서, 퍼지 규칙을 개발해서, 기존의 방법 보다, 외부 온도 조건 및 Tilt 조건을 고려한, AED 자가 진단 이상 검출 유무를 판단 하는 모의 실험 소프트웨어를 개발하였다. 모의 실험결과 기존의 방법보다 고장 검출 확률이 30 % 정도 개선되는 것을 확인하였다.

References

- [1] Bakseokyeon, the reality of the meridian, taehaksa, 1997.
- [2] Yihangu, etc., with electrical characteristics 經絡 Systems Research (1), Korea Institute of Oriental Medicine, 1998.
- [3] Digital Medical Research Institute. Digital age and hospital management and a successful opening strategy. KIMES 2001, academic seminars.
- [4] Yunyoungjun, jeonghyeonmin, sinhaksu, jojeonghyeon, Soh, Kwang-Sup, "Correlation between pulse wave characteristics' for Biomedical Engineering, 1999
- [5] EK, 'the gender of students, according to the Department of Constitutional by my research and self-defense', Dong-A University, Master of Arts in Education Thesis, 2000
- [6] <http://article.joinsmsn.com/news/article>
- [7] Hong, You-Sik, "Using Intelligent Medical Diagnostic System", Internet Broadcasting and Communication Sciences, 2008,02
- [8] Kimmyeonggyun, Park, Sung - Sik conventional impregnation medical history and consider the question of the interpretation of the meridian, Constitutional Medicine, Journal of Constitutional Article 20, Issue 1, pp.15-23, 2008
- [9] Dong H. Shin, Seol B. Bae, Woon K. "Way-Point Tracking of AUV using Fuzzy PD Controller", Korea Institute of Information Technology Vol.11, Issue 5, 2013.05,
- [10] Choejeongju, "Study on the Design of Optimal Grinding Control System Using LabView", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, v.14, no.1, 2013, PP. 07-12

저자 소개

이 희 택(정회원)



- 2000년 3월~2007년 2월 : 연세대학교 의공학과(학사)
- 2006년 11월~현재 : (주)메디아나 연구소 선임 연구원
- 2011년 9월~2013년 8월 : 상지대학교 응용 전자공학과(석사)

이 상 석(정회원)



- 1994년 3월~현재 : 상지대학교 한방 의료 공학과 교수
- 1999년 9월~2000년 8월 : (미)스탠퍼드대학교 재료공학과 Post-doc 및 방문연구원
- 2002년~2004년 : 상지대학교 생명과학연구소장

홍 유 식(종신회원)



- 1991년~현재 : 상지대학교 컴퓨터 정보공학부 교수
- 1989년~1990년 : 삼성전자 종합기술원연구원
- 2006년~2010년 : 대한전자공학회 컴퓨터 소사이티 회장